

# Trimble Ri

## White Paper & Benchmarking Report

GeoMessdiskurs 29.06.2023

Presenter: Richard Bellmann, Trimble Jena GmbH



# Trimble Ri

White Paper &  
Benchmarking  
Report

1

## Kurzvorstellung

2

## Design Konzepte

Teleskop, Interner Kollimator, Lot, Neigungskompensation

3

## Visuelle Anzielung

Autofocus, Konstanter Abbildungsmaßstab, Anzielgenauigkeit

4

## Winkelgenauigkeit

Achsfehlerkompensation, Hz ISO Genauigkeit

5

## Streckenmesser

EDM Konzept, Genauigkeit, Reichweite, Spotgröße

6

## Tracking

Konzept, Reichweite, Robustheit

7

## Funkkommunikation



# 1 Kurzvorstellung

## Trimble Ri

- Robotische Totalstation für das Baugewerbe
- 2" Winkelmessgenauigkeit, 2 mm Streckenmessgenauigkeit

### Benefits:

- **Komfortable Anzielung** (Zoom Objektiv)
- **Sicheres Locking & Tracking** (simultaner Videostream)
- **Volle Genauigkeit in der Einlagenmessung** (automatische Feldkalibration)
- **Fokussierbarer Laser** zum genauen Laser-Abstecken
- **Stabile Verbindung** (Dualband WiFi)
- **Permanente Neigungsüberwachung** bis zu 5 Gon Schiefstellung
- **Laser- und Videolot** mit autom. Instrumentenhöhenmessung

→ einfache Bedienung und erhöhte Produktivität



# 02

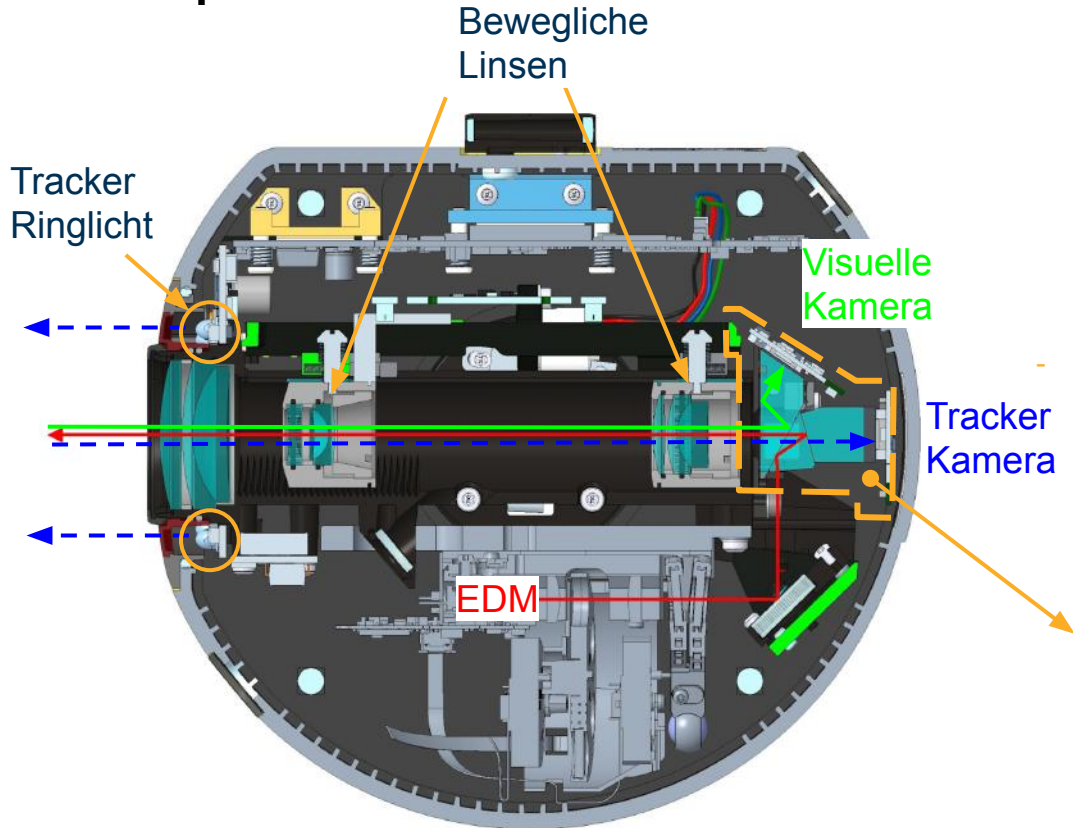
## Design Konzepte

---

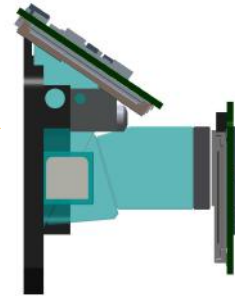


# 2 Design Konzepte

## Teleskop



- Tracker, EDM und visuelle Kamera werden koaxial, simultan fokussiert
  - kleinstmöglicher Laserspot bei allen Distanzen
  - hohe Reflektorlose Reichweite
  - visuelles Bild während des Trackings
  - gemeinsame Optik erhöht die Kalibrierstabilität, reduziert Platzbedarf und Kosten
- **Vollständig kalibriertes Objektiv**
  - geodätische und Photogrammetrische Korrektur in jeder Linsenposition

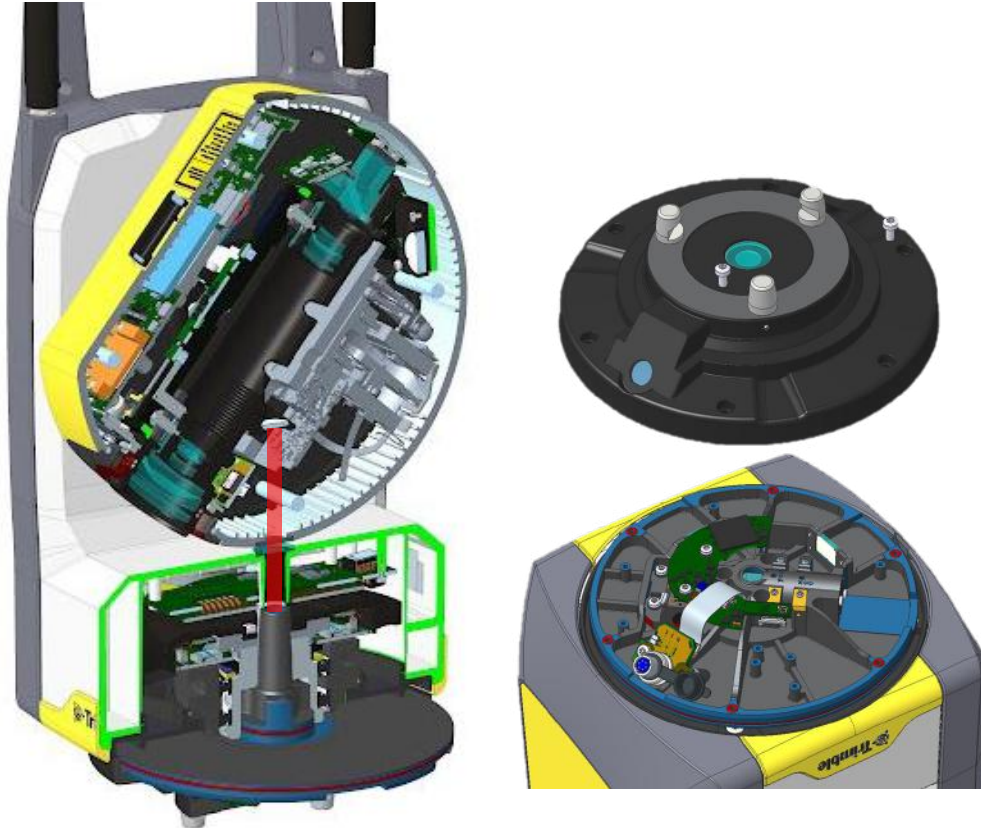


**MCPU** - Multi Channel Prism Unit teilt den optischen Pfad in visuell, Infrarot (Tracker) und EDM (Rot)



# 2 Design Concepts

## Interner Kollimator



- Ri ist die erste Totalstation mit einem internen Kollimator
- Patentiertes Design, ähnlich zu X7
- Schritt 1: Messung in Auto-Kollimation auf einem Spiegel im Teleskop in verschiedenen Instrumentenorientierungen
- Schritt 2: Messung des kollimierten Laserspots auf der Kollimatorkamera

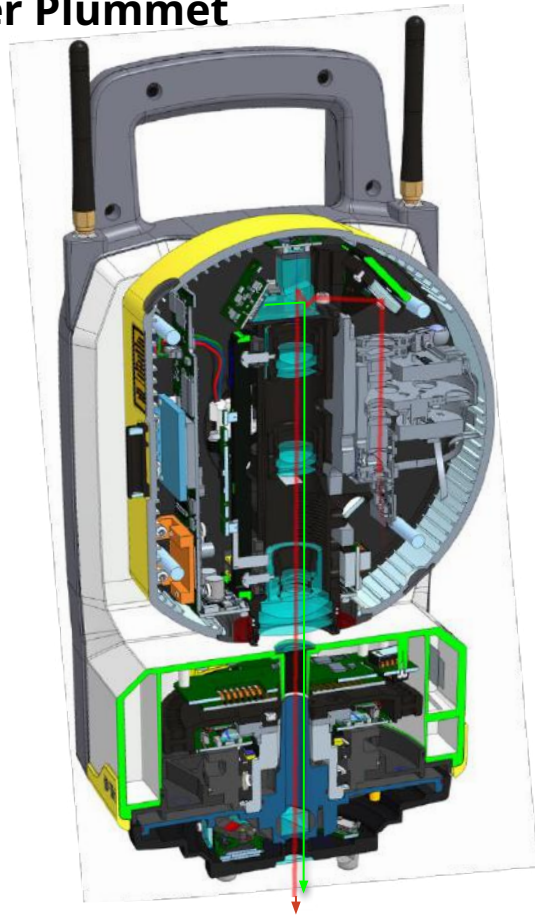
→ automatische on-board Selbstdiagnose bei Instrumentenstart

→ Kompensation der Achsfehler für volle Genauigkeit in Einlagenmessungen



# 2 Design Concepts

## Video und Laser Plummet



Optischer Pfad durch die Basis erlaubt den Laser sowie der Videokamera als Lot zu fungieren

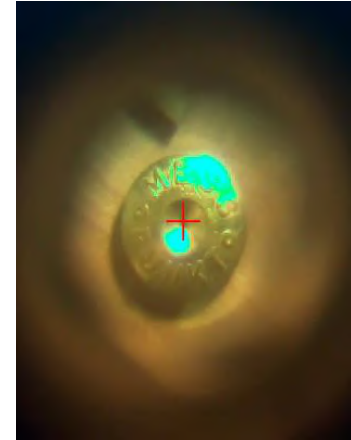
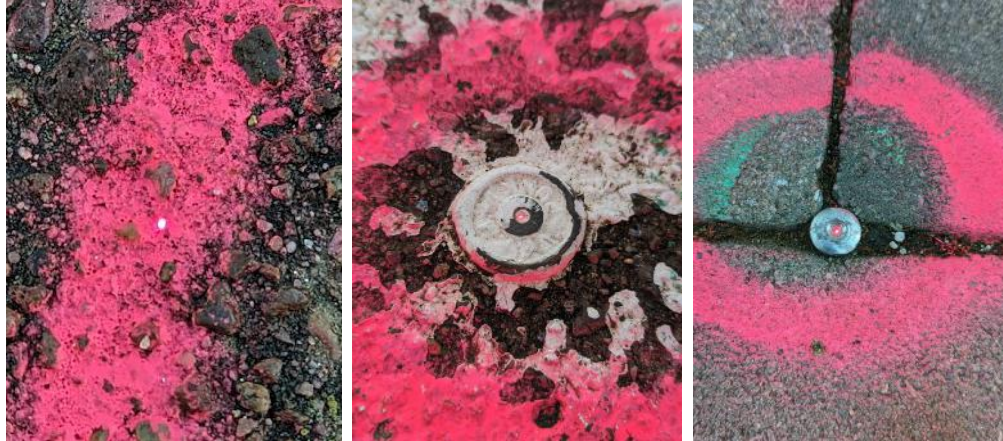
→ kein zusätzlicher Laser oder Kamera benötigt

→ automatische Instrumentenhöhenmessung



# 2 Design Concepts

## Visual and Laser Plummet



- Heller und scharfer Laserspot für gute Sichtbarkeit sogar auf roten Oberflächen

- Videolot mit Autofokus Funktion

### Plummet

Type	video and laser plummet
Working Range	0.5 m ... 2 m
Accuracy of instrument height measurement	2 mm
Laser Spot size	2 mm / 1.5 m
Centring Accuracy	+/- 1 mm / 1.5 m
Plummet precision ISO 17123-7	0.2mm

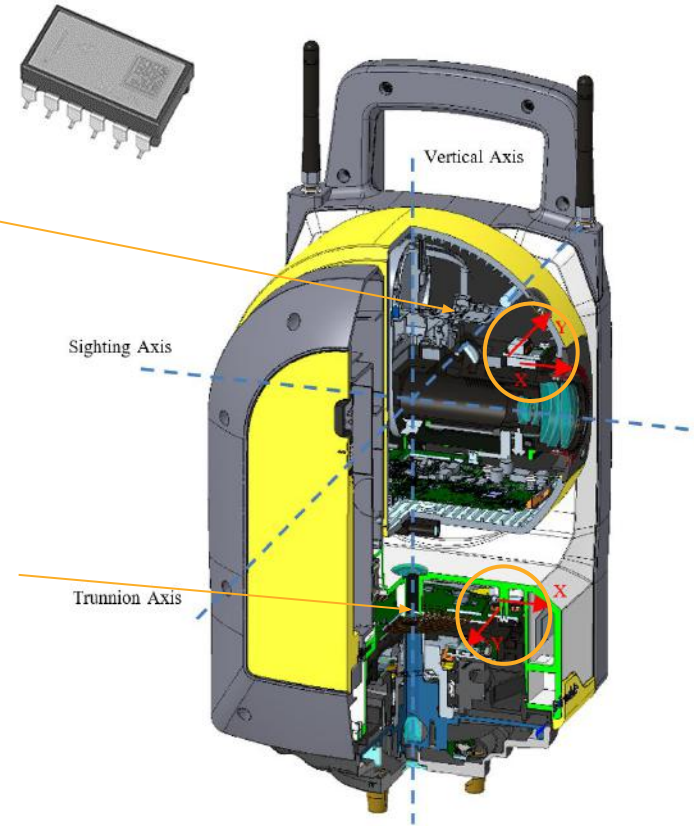




# 2 Design Concepts

## Neigungskompensation -und Überwachung

- Paar von MEMS Beschleunigungssensoren, messen je in Ziel- und Querachsrichtung
    - Instrument muss nicht mehr horizontiert werden (Arbeitsbereich bis zu +/- 5 gon vom Horizont)
  - Während der Messung im Feld kann sich die Instrumentenneigung aufgrund eines Einsinkens des Stativs oder durch thermische Expansion ändern
    - Ein zusätzliches Paar Beschleunigungsmesser überwachen die Neigung des Instruments permanent
- Die gemessene Änderung wird bis zu einem gewissen Grad (0.12 gon) automatisch kompensiert, bevor eine Warnung ausgegeben wird
- Zusätzlich warnt das Instrument im Falle von zu starken Vibrationen



# 03

## Visuelle Anzielung

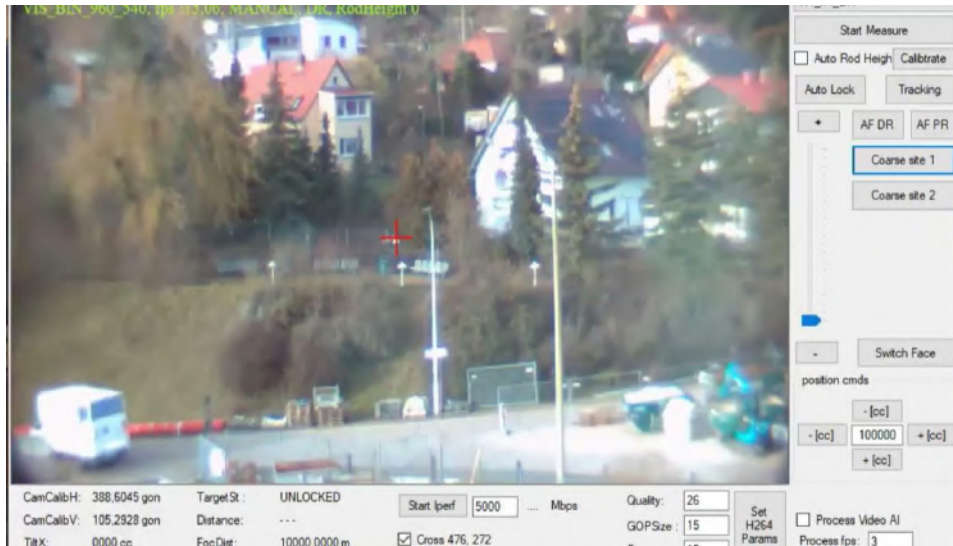
---



# 3 Visuelle Anzielung

## Autofokus

- Ri stellt die Linsen automatisch basierend auf der Streckenmessung ein



# 3 Visual Aiming

## Konstanter Abbildungsmaßstab

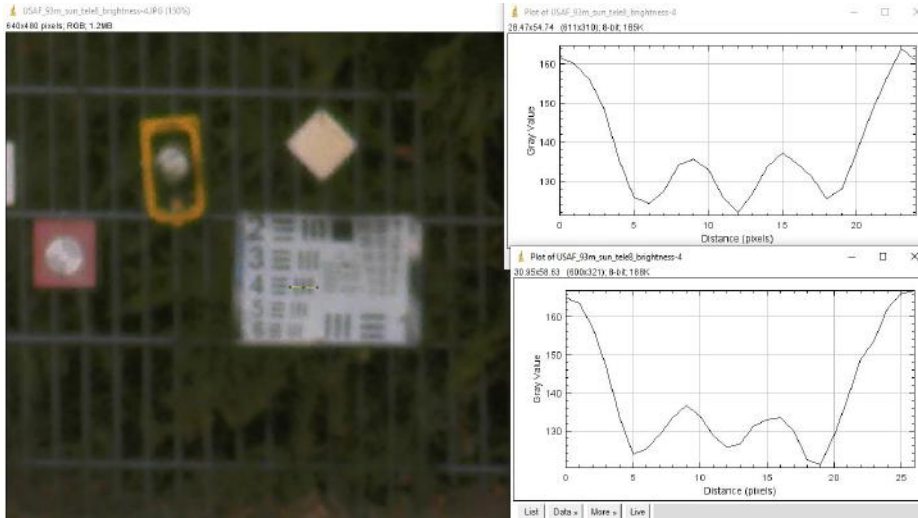
- Das Sehfeld bleibt über den Arbeitsbereich von 5 m .. 40 m konstant bei  $\sim 1.25$  m horizontal bzw. 0.5 mm per pixel
  - zusätzlicher Kontext führt im Nahbereich zur besseren visuellen Orientierung
  - erweitertes Sehfeld unterstützt den Tracker auf dem Ziel zu bleiben, auch bei schnellen Richtungsänderungen des Ziels
- Zusätzliche, spezielle Linsenkonfigurationen:
  - Overview
  - Panorama imaging
  - Target search
  - Laser/Video Plummet



# 3 Visual Aiming

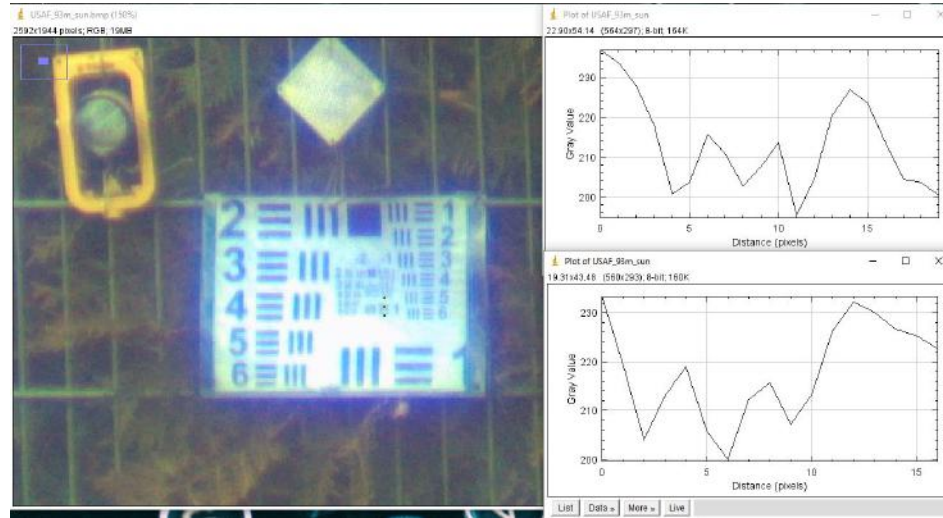
## Anzielgenauigkeit

- USAF pattern at 93 m



### State of the Art Total Station

Resolvable Pattern -4 4, line thickness 5.7 mm  
with ~ 8% contrast



### Trimble Ri

Resolvable Pattern -2 1, line thickness 2 mm  
with ~ 7% contrast



04

# Winkelmess genauigkeit

---



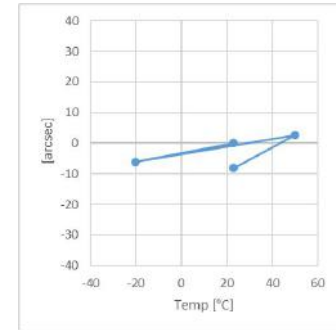
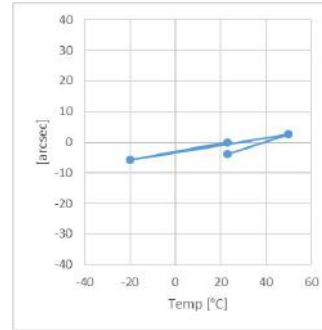
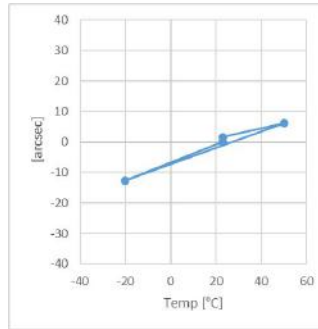
# 4 Angular Accuracy

## Achsfehler vs. Temperatur (Interner Kollimator AUS)

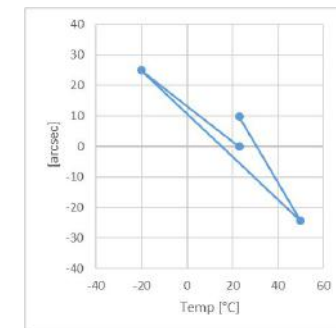
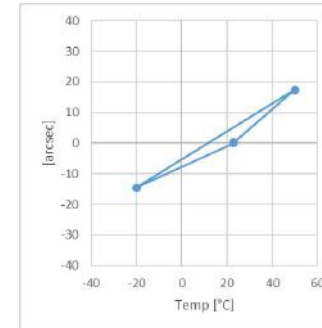
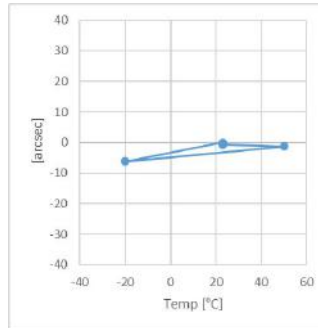
- Achsfehler über den Arbeitstemperaturbereich (-20 °C to +50 °C) gemessen in Produktion

3 typische Instrumente

**c (Seitenkollimationsfehler)**



**i (Höhenindexfehler)**



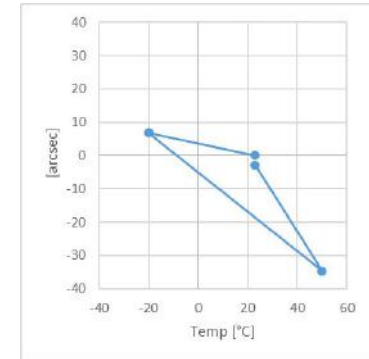
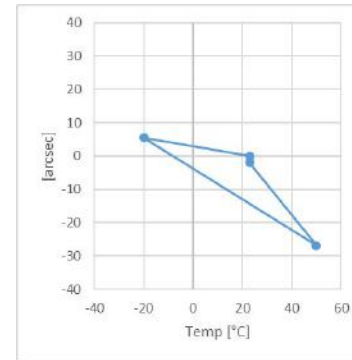
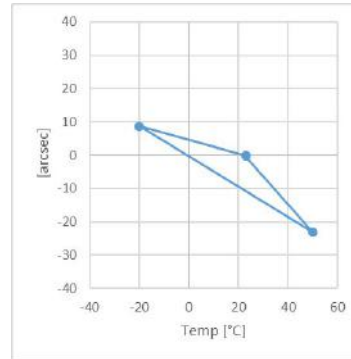
# 4 Angular Accuracy

## Achsfehler vs. Temperatur (Interner Kollimator AUS)

- Achsfehler über den Arbeitstemperaturbereich (-20 °C to +50 °C) gemessen in Produktion

3 typical instruments

k (Kippachsfehler)



→ C,i,k Drift  $\ll 1'' / K$

→ Gutes Ergebnis aufgrund des koaxialen Setups





# 4 Angular Accuracy

## Axes Error Drift over Temperature (Internal Collimator ON)

- Verbleibender Fehler bei einer 2 Lagenmessung auf ein Prisma in 39 m Entfernung über den Betriebstemperaturbereich

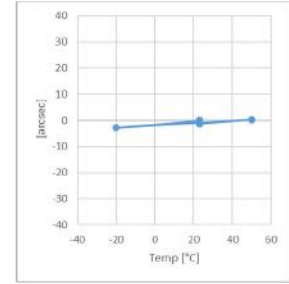
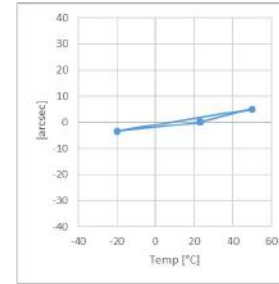
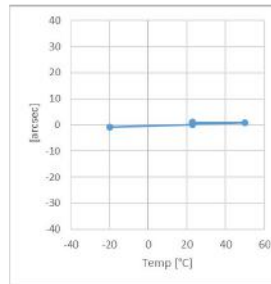
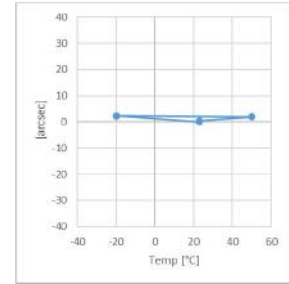
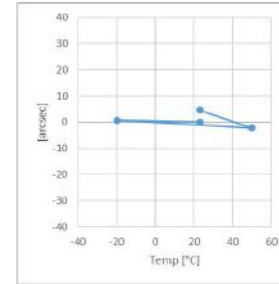
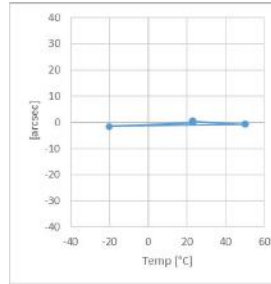
**c (Seitenkollimationsfehler)**

**i (Höhenindexfehler)**

→ Nahezu vollständige  
Kompensation der thermischen  
Drift mittels internen Kollimators!

Heißt: Anzielgenauigkeit in  
Einzellage <1.5 mm @ 50 m !

3 typical instruments



# 4 Angular Accuracy

## Hz Winkelmessgenauigkeit (ISO 17123-3)

- SW-konfigurierte Genauigkeitsklassen (2" ... 25"), aber jedes Gerät muss 2" in Produktion erreichen (100% Prüfung)



**HAMS** - Hurricane Angle Measurement  
System for ISO horizontal angle accuracy test



# 05

## Strecken Messung

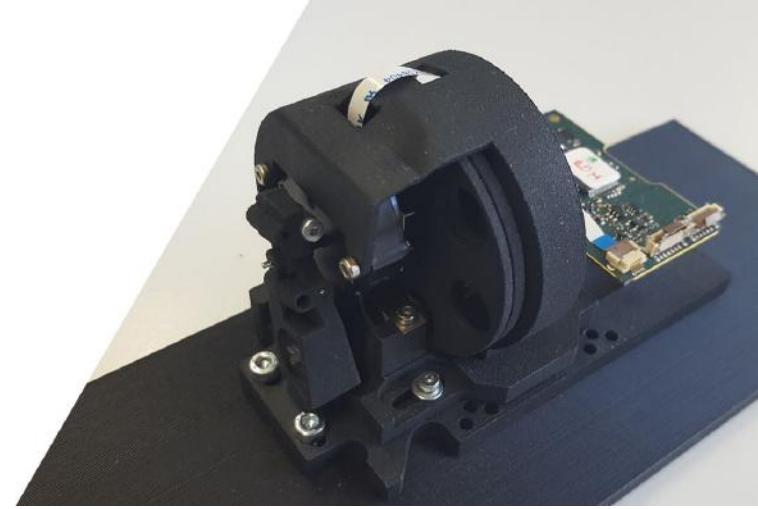
---



# 5 Streckenmessung

## Design Konzept Electronic Distance Meter (EDM)

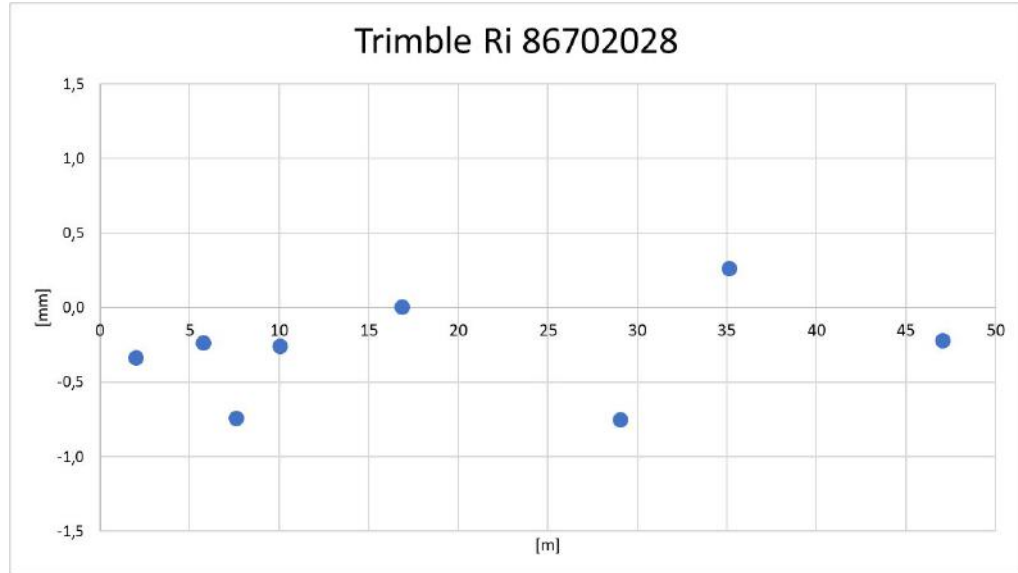
- Kombiniertes Laufzeit & Phasenmessverfahren → schnell & genau
- Augensicher (LC2, max.1 mW)
- Rote Wellenlänge 660 nm
  - ermöglicht ~30% längere DR Reichweite und erhöhte Messgeschwindigkeit gegenüber Grün
  - kompatibel mit Cu-beschichteten Prismen
- Wahlrad für verschiedene Dämpfungsfiler sowie einschwenkbarer Strahlaufweiter für PR Messungen
  - Unterstützt eine breite Vielzahl von Zielen (Direct Reflex, Cateye, Foil, Prisms)
  - Automatischer Wechsel von Direct Reflex / Prism Reflex Mode auf Grundlage der Signalstärke
- Größte Herausforderung für die Integration: Rückreflexe des Objektivs in die Empfangsdiode des EDMs. → smarter Reflex-Filter Algorithmus



# 5 Distance Measurement

## Streckenmessgenauigkeit - Test bei PTB

- PTB = Physikalisch Technische Bundesanstalt @ Braunschweig
- Messung Trimble Ri gegen 50m Interferometerbahn
- Ergebnis  $< +0,5\text{mm} / -1,0\text{ mm}$



- Keine Schwankung des Messabstands beim Lagewechsel:
  - Standardabweichung DistanceFace1 - DistanceFace2  $< 0,05\text{ mm}$
- Hohe Robustheit des EDM gegenüber Vorderflächenreflexionen von Prismen
- Aufgrund des ToF-Messprinzips treten keine periodischen Phasenfehler auf



# 5 Distance Measurement

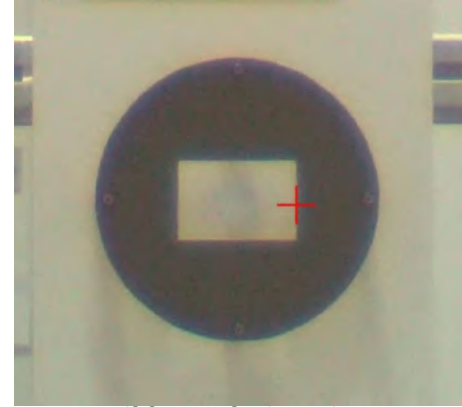
Mode	Gemessene Reichweiten	Genauigkeit	Messzeit
<b>Prism Mode</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Single Prism 50mm: <b>900 m (max. möglich: 1500 m)</b></li><li>• Kürzeste Strecke: <b>1 m</b></li></ul>	ISO 17123-4 Test zeigte <b><math>s_{ISO-EDM} = 0.5 \text{ mm}</math></b>  (spezifiziert: 2mm + 2ppm)	<b>&lt; 1s</b>
<b>Direct Reflex Mode</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kodak White 90%: 990 m</li><li>• Kodak Gray 18%: 500 m</li><li>• Kürzeste Strecke: <b>0.5 m</b></li></ul>	spezifiziert: 2mm + 2ppm	<ul style="list-style-type: none"><li>• Typical &lt; 1s</li><li>• Max. 4s</li></ul>



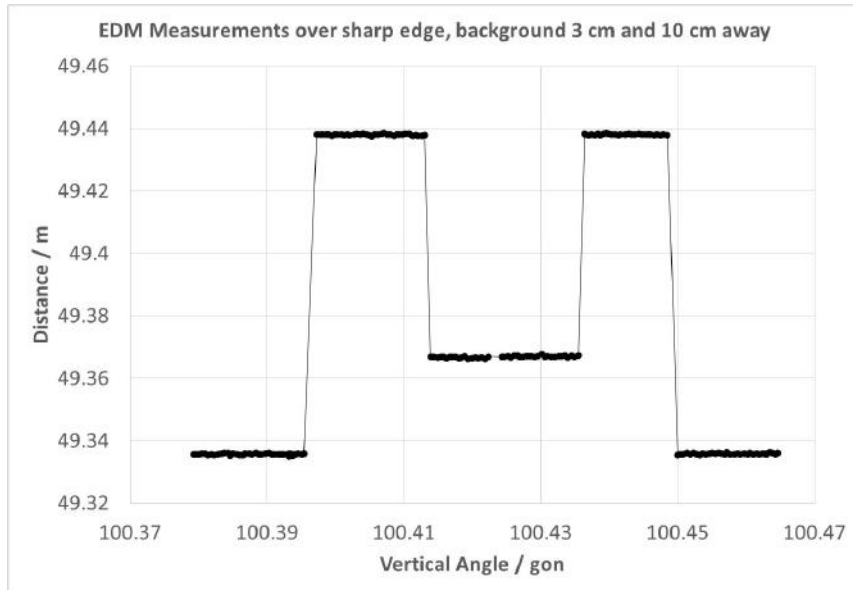
# 5 Distance Measurement

## Scharfkantentest

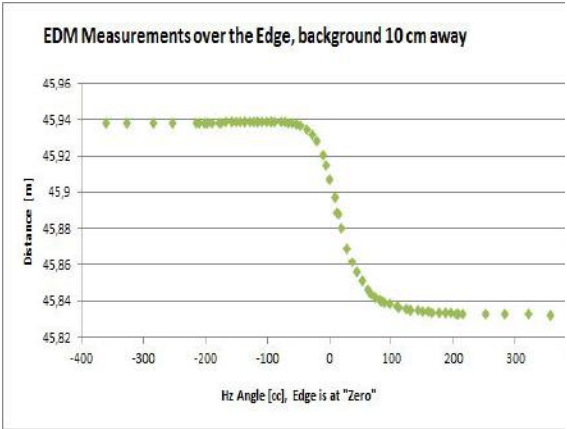
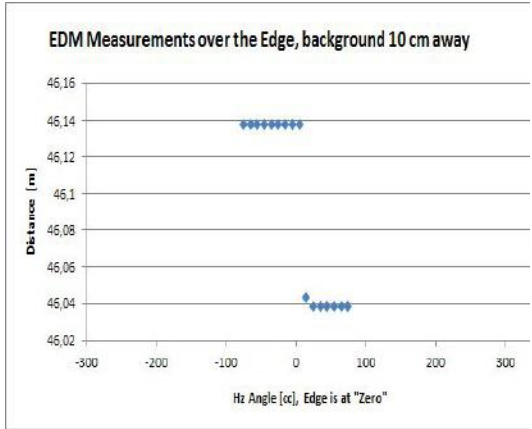
- Vertikaler Linienscan bei 50 m mit 5-cc-Winkelschritten
- Scharfes Kantenprofil auf der KG-Karte 18 % vor der KG-Karte 90 % Hintergrundabstände von 10 cm und 3 cm
- Scharfe Profilkanten werden korrekt gemessen, es ist keine Kantenglättung im Messprofil zu beobachten
- Es treten keine falschen Messergebnisse auf, wenn der Laserpunkt in Vorder- und Hintergrund aufgeteilt wird



VIS-Bildausschnitt mit Laser-Fadenkreuz an Kante



# 5 Distance Measurement

EDM Benchmark	State of Art Total Station	Trimble Ri
Accuracy	2 mm + 2 ppm	2 mm + 2 ppm
Direct Reflex Range	2000 m, LC3R(max. 5mW)	1000 m, LC2 (max.1 mW)
Spot size @ 50 m	~ 20 mm	~ 5 mm
@ 100 m	~ 40 mm	~ 10 mm
Kantenauflösung  Ri kann aufgrund der superkurzen Impulse und der kleinen Punktgröße besser differenzieren		





# 5 Distance Measurement

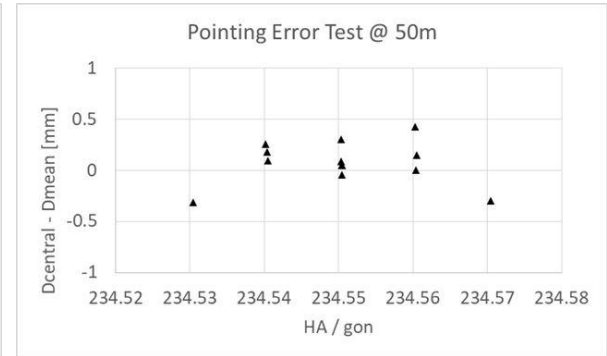
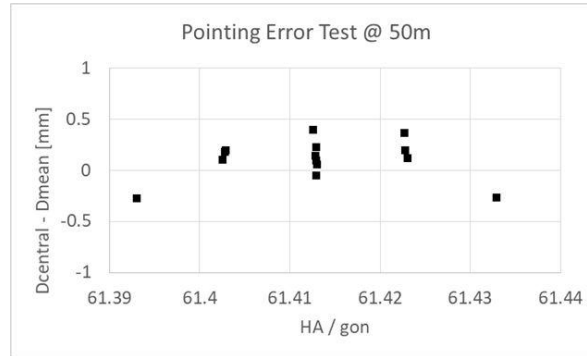
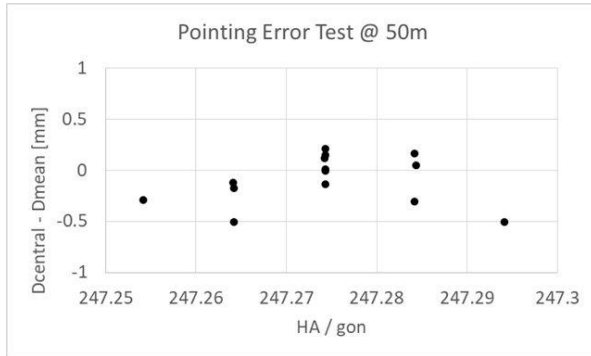
## Anzielgenauigkeitstest

(engl. Pointing Error Test, acc. Chinese JJG703 - Electro-Optical Distance Meter)

- Messabstandsvariation mit Laserstrahl-Dezentrierung auf Prisma
- Der Fehler ( $D_{\text{central}} - D_{\text{mean}}$ ) des gemessenen Abstands sollte weniger als die Hälfte des festen Fehlers der werkseitigen nominellen EDM-Standardabweichung betragen
- Tests, die an mehreren Instrumenten bei 50 m auf einem 50-mm-Prisma durchgeführt wurden, zeigen einen Pointing Error innerhalb von  $\pm 0,5$  mm



Aiming Points Grid



06

# Tracking

---



# 6 Tracking

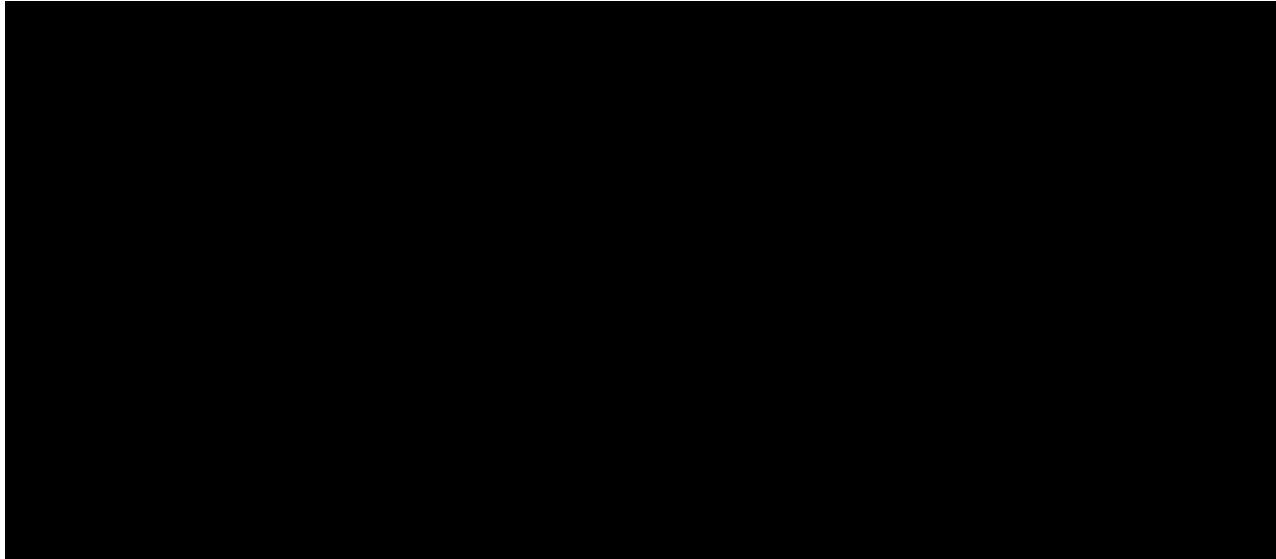
## Implementierungskonzept

- Tracking Applikation läuft auf einem separaten, zeitlich deterministischen CPU Core (RTOS)
  - Keine Unterbrechungen des Trackings durch Hauptbetriebssystem
- Bildverarbeitungen laufen in einem FPGA
  - Extrem schnelle Differenzbildberechnung (→ 3ms (Sw, Cached Memory, im Vergleich zu RPT600 → 15ms!))
- Hardwareunterstützte Synchronisation mit Ringlicht
  - ausfallsichere Hell-/Dunkelbildererkennung
- Interne Hauptuhr zur Zeitstempelung von Winkel- und Distanzmessungen
  - Präzise Vorhersage der Zielbewegung, schnelles einfaches Relock



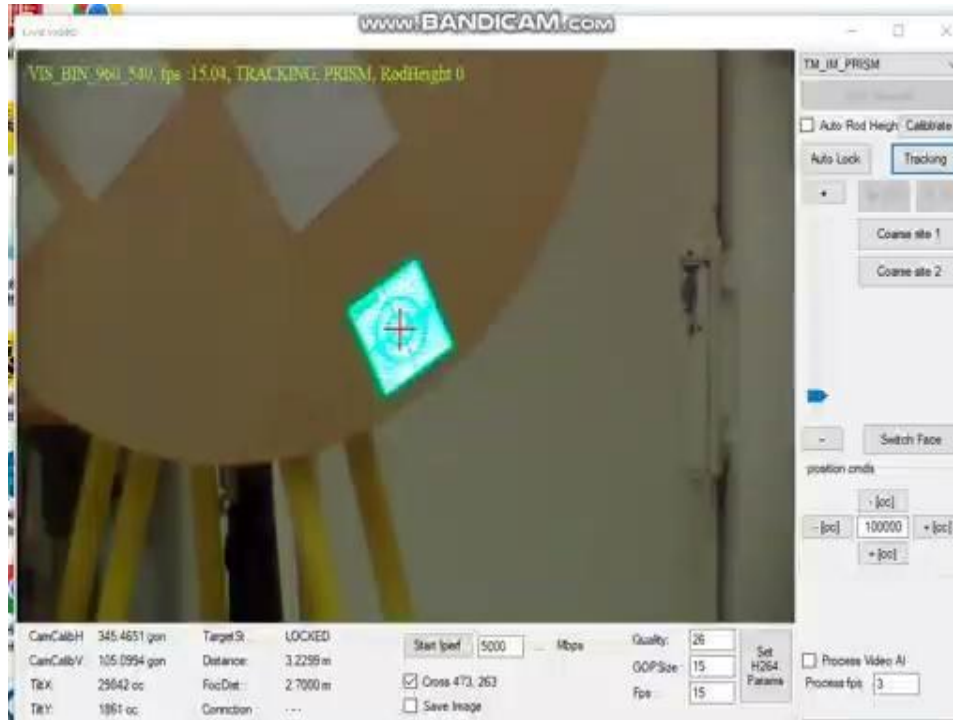
# 6 Tracking

- Performance:
  - Reichweite (Verfolgung): 400 m ( 360° Prisma) , 160 m (360° Cateye)
  - Reichweite (Autolock): 40 m (Folie); 140 m (Cateye); 400 m (25 mm Prisma); >800m (50 mm Prisma)
  - Geschwindigkeit: siehe folgende Videos
  - Visueller Stream während der Verfolgung zur Überwachung des Tracking Status
  - Das Sichtfeld wird vom Instrument automatisch basierend auf der Entfernung zum Ziel eingestellt
  -



# 6 Tracking (Stabilität)

Verfolgung eines rotierenden Ziels in 3 m Entfernung

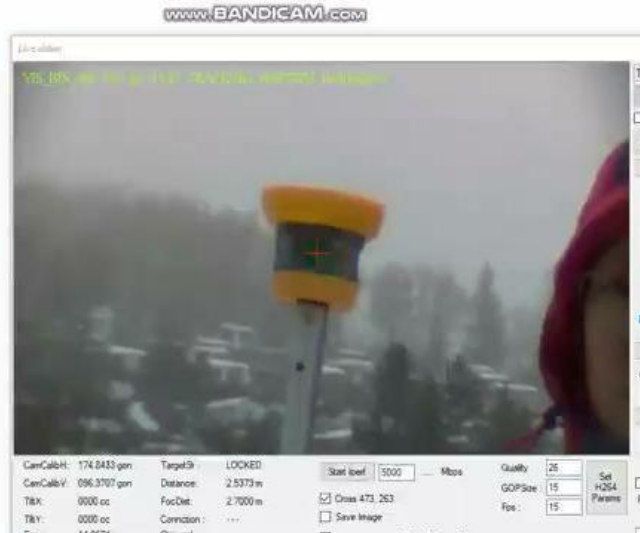


**Ri** Abbruch bei  
58 U/min  
(1,6m/s)



# 6 Tracking (Stability)

Tracking auf kurze Distanz – schneller Wechsel der Bewegungsrichtung



# 6 Tracking (Stability)

## Stationäres Prisma in der Ziellinie



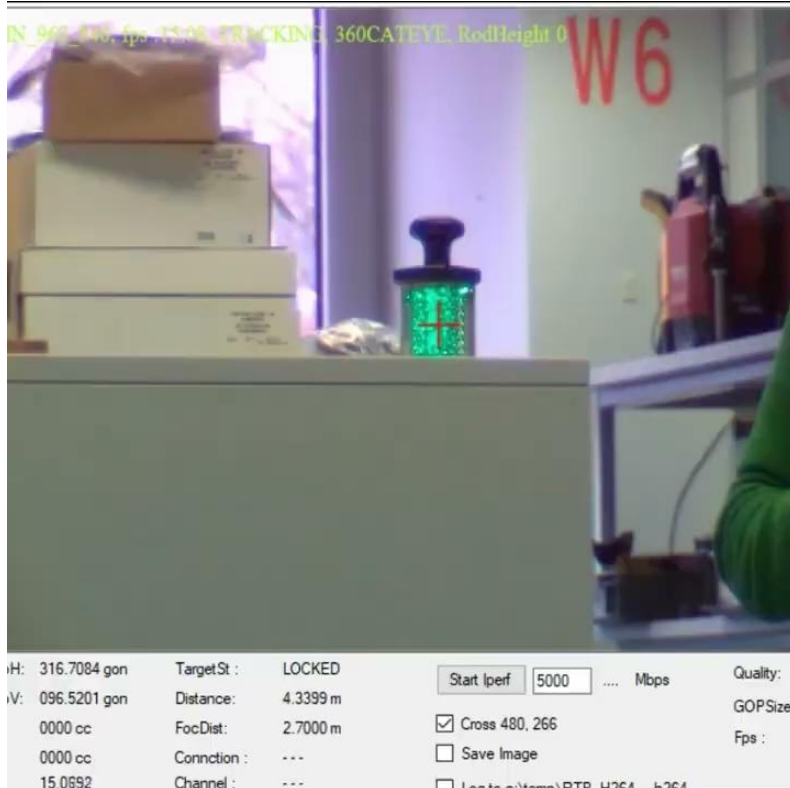
→ Kein Verfolgungsabbruch, Instrument verfolgt mit vorberechneter Bewegung weiter

→ Fangbereich des Ri Trackers entspricht ~den gesamten visuellen Bild



# 6 Tracking Stability

## Störung durch Sicherheitsweste



Robustheit gegenüber Warnwesten-Reflektoren hat sich deutlich verbessert, kann aber nach wie vor im Einzelfall zu Ablenkungen führen





07

Radio

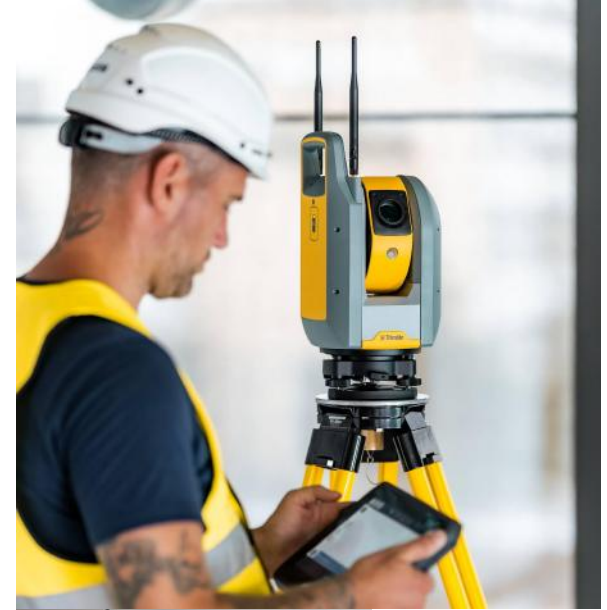
---



# 2 Radio

## Concept

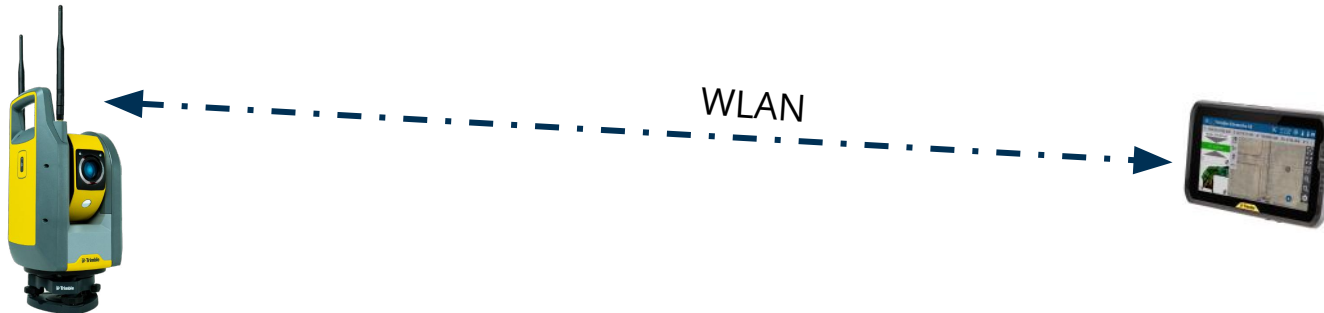
- WLAN 2.4 GHz: Channels 1 ... 14
  - Mid ... long Range radio
- WLAN 5GHz: UNII-1, UNII-2a/extended/e, UNII-3 → Channels 36...140, 149...165
  - WLAN every time available - indoor/outdoor/fairs and tradeshows, restricted radio areas (hospitals, etc.), too much traffic for 2.4GHz
  - short ... mid range radio
- Long Range Bluetooth
- **Communication Management System (CMS)**
  - automatically switch between WLAN channels and Bluetooth for best experience
- Repeater for long range communication and bluetooth
- 
- Direct Connection **Trimble Ri** → **Tablet**: WiFi 2,4GHz/5GHz
- Connection via **Trimble Ri** → **Trimble CBi repeater** → **Tablet**: WiFi 2,4GHz/5GHz and Long Range Bluetooth for long distances



# 2 Radio

## Current implementation

- Only WLAN
- Customer can enable 2.4GHz and/or 5GHz
- 2,4GHz: 250m (green field) ... 100m (WLAN congested)
- 5 GHz: 200m (green field) ... 30m (WLAN congested)
- Additional choose of indoor only channels and weather radar channels (“DFS”, 52...120, all on 5GHz)
- Automatic channel selection by given WLAN selection



# 2 Radio

## Current development

- Long Range Bluetooth with USB Stick
- 3 fps videostream and control data
- Range 350 ... 850 m. 500m in expectation. (Requirement is 300m)
- USB stick is GTM solution, next step would be a Trimble product



Long Range Bluetooth



# 2 Radio

## Field Feedback (2022)

### Trimble Sales Feedback:

*“Bryan,*

*I have some very good news to share with you.*

*Readers digest version.*

*xxxx is working at a hospital project in Miami. It is multiple stories high and literally couldn't be closer to C-Band antennas and radio interference. That band for the hospital crushes all things around the 2.4 spectrum. To include BT, our radios and even GNSS radio (BT). All robots are non functioning on this project (Leica, Hilti, Trimble) THE EXCEPTION is the Trimble Ri. We locked it into 5G mode and it performs flawlessly. All the other contractors are asking xxxx questions about how he can use robots and not them. Aside from.....the Ri is the only robot able to work on that project right now and that's a massive win for us and the customer xxxx is extremely happy. Just some good Friday news.*

*Best regards,*

*Shawn Spencer*

*Eastern US Sales Manager”*

### Hilti Market Testing Feedback:

*“Very good! Reliable, stable and surprisingly far video range. Remaining optimizations on latency desired.”*





# Thank You

## Credits

Dr. Annegret Reithe  
Robert Peter  
Dr. Nicolae Doloca  
Martin Jung

For Questions  
or Feedback  
please contact:  
[richard\\_bellmann@trimble.com](mailto:richard_bellmann@trimble.com)

